

高機能フォトニックノード技術研究開発

(1) 研究の目的

100Tbps 級のフォトニックノード構成技術の実現を達成すべく、超高速光スイッチング技術と複数の波長を一括して設定 / 伝達する波長群スイッチングノード技術を研究開発する。また、多元的粒度の光パスを用いた効率的な大容量フォトニックネットワークアーキテクチャと異なる粒度の光スイッチを連携制御するネットワーク制御技術を研究開発する。

(2) 研究期間

平成 17 年度から平成 21 年度 (5 年間)

(3) 委託先企業

NTT コミュニケーションズ 株式会社 < 幹事 >、富士通株式会社
日本電信電話株式会社、国立大学法人名古屋大学、
国立大学法人大分大学

(4) 研究予算 (百万円)

平成 17 年度	400
平成 18 年度	359
平成 19 年度	400
平成 20 年度	379

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：超高速スイッチング技術の研究開発 (富士通株式会社)

- ア-1 超高速スイッチアーキテクチャの構築
- ア-2 スイッチデバイス、モジュール技術
- ア-3 超高速スイッチ制御技術

課題イ：波長群スイッチングノード技術の研究開発

- イ-1 波長群編集伝達技術
- イ-2 波長群トランスペアレント運用技術
- イ-3 波長群高密度対応化技術

(日本電信電話株式会社)

- イ-4 光位相同期多波長光源広帯域化チェーン技術

(国立大学法人大分大学)

課題ウ：多元的光パスネットワーキング技術に関する研究開発

ウ-1 複数階層のコア/エッジネットワークを含むスケーラブル多元粒度光パスネットワークアーキテクチャ並びに設計アルゴリズムの開発

ウ-2 多元粒度光パスネットワーク制御技術の研究開発

(国立大学法人名古屋大学)

ウ-3 高機能フォトニックノード構成要素技術の連携

(エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社)

(6) 主な研究成果(平成20年度分)

特許出願： 76件

外部発表： 192件

具体的な成果

課題ア：超高速スイッチング技術

ア-1 超高速スイッチアーキテクチャの構築

超高速スイッチアーキテクチャの検討として、最終目標である256ポート規模の高速スイッチシステムを構成する上で、前年度に考案した8ポート単位に分割された拡張機能ブロックを用いた拡張方式に対して、各機能ブロックに要求される光部品仕様の明確化、および各制御部に要求される制御機能を明確にした。

ア-2 スイッチデバイス、モジュール技術

8:1集積化 SOA 素子の利得偏差低減に向けて、FFC カプラ単体試作による構造最適化及び集積化 SOA 素子の2次試作を実施した。試作した集積化素子において14.3dB以上の光利得、70dB以上の消光比と共に、平坦なチャンネル間利得偏差1.2dBを実証した。

モジュールでは、気密パッケージおよびレーザ固定を導入した高信頼モジュールを設計・試作し、85℃までの環境温度の変化に対して安定であることを確認した。

ア-3 超高速スイッチ制御技術

超高速スイッチ制御技術として、最終目標である256ポート規模の高速スイッチシステムを構成する上で、前年度に考案した8ポート単位に分割された拡張機能ブロックを用いた拡張方式に対して、ア-1で検討を行っ

た光仕様、制御仕様を満たす 256 ポート拡張装置構成における、各機能ブロックの装置構成(ハードウエア)について、各ブロックの構成詳細検討とその試作を行い、256 ポート拡張構成の実現に向けた基本動作実証を完了した。

課題イ：波長群スイッチングノード技術

イ - 1 波長群編集伝達技術

光バーチャルコンカチネーション(OVC)のチャネル数を追加し、総容量 160 Gb/s (40 Gb/s × 4 波長) の OVC 伝送技術を実証した。スキュー調整誤差は約 2.4 ns 程度であり、目標としてきたデスクュー後の残留スキューとして OTN フレーム時間長の 10 % 以下 (0.3 μs) を達成した。

また、波長スイッチ、波長群スイッチ機能との連携実証実験にむけて、WSS スイッチ複数台を接続して 1 つの 2×2 波長群スイッチを構成し、1 つの GSMP コマンドで複数のスイッチを連携制御した波長群スイッチ機能実験により、基本機能を検証した。

イ - 2 波長群トランスペアレント運用技術

多波長光源技術

波長群ノードの動作実証実験に資するため、使用波長帯を従前の L 帯から C 帯へ変更し、50 GHz 間隔で 32 ~ 40 波の多波長光を発生させ、その良好な光源品質(相対強度雑音 - 140 dB/Hz 以下)を確認した。光周波数確度が 10^{-7} 以下の C 帯安定化基準光源をボード化した。また、スーパーコンティニウム光源を用いて C 帯から L 帯にわたって高確度の光周波数計測を実現し、種々の光学素子の特性の測定に成功した。

波長群変換技術

波長変換回路の波長群変換の規模の拡大を図るため、8 波程度の波長群を 8 程度以上の群波長帯から自由に選択変換可能な任意群波長変換回路の実験実証を行った。8 波長群への波長変換においては 8 つの QPM ピークを持つマルチ QPM-LN 素子を新規に作製し、8 波長群程度への波長変換では 1 つのマルチ QPM-LN 素子を用いた任意波長群変換の可能性を実験的に示した。また、市販の低損失な光スイッチと複数の 5 つの QPM ピークを持つマルチ QPM-LN 素子を用いて、10 波長群への変換を実現した。このことにより波長変換による損失を大幅に増やすことなく変換波長群の拡張が容易に行えることを確認した。

波長群品質監視技術

非同期強度ヒストグラム技術による広帯域の波長群信号品質監視について検討を行った。サンプリング部を 2 系統化して、一方のサンプリング

部の特性をCバンドの短波長域で最適化し、他方のサンプリング部の特性を長波長域で最適化した。さらに、これら2系統のサンプリング部を波長選択部および品質監視部と協調動作するよう信号処理・制御部の設計を行い、広帯域波長群信号品質監視回路を作製した。本回路を用いて、Cバンド全域に亘る広波長帯域での波長群の信号品質劣化の評価が可能であることを示した。

イ - 3 波長群高密度対応化技術

RZ-DQPSK方式を用いた高密度WDM伝送方式において、受信側にEDCを適用することにより光フィルタリングによる波形歪を等化して伝送特性を向上させることを検討し、44.6 Gbit/s/ch、波長間隔25 GHz（周波数効率1.6 bit/s/Hz）という高密度WDM多重分離の検証実験を実施した。EDCを用いることにより受信信号のアイ開口を改善させることができることを確認し、隣接波長との偏波状態を直交させることにより良好な多重分離特性が実現可能であることを確認した。

また搬送波位相同期WDM技術について、3チャンネルのQPSK信号において、FWMクロストークの受信端補償を行った結果Q値を0.5 dB程度向上させることに成功し、スペクトル利用効率1 b/s/Hzの領域に適用可能であることを示した。

富士通殿との連携実験

高機能フォトニックノードの波長及び波長群編集機能などを実証することを目的として、富士通殿と連携してデータプレーンの接続実験を行った。マルチ粒度の編集・スイッチング機能を有するスループット10 Tbit/sのフォトニックノードを構築し、FEC復号後は10 Tbit/s全チャンネルでエラーフリー（ $< 1e-12$ ）を実現した。また2組の長さの異なるファイバを使って2チャンネルのデスクュー動作を確認した。

イ - 4 光位相同期多波長光源広帯域チェーン技術

1. 変調サイドバンド方式安定化光源の開発

第2次変調サイドバンド光を用いることによってLN光位相変調器に内在する変調歪を抑圧できるので安定性が高まることを明らかにした。ローレンツ関数形状となるCOガス吸収線プロファイルの微分特性を1次、2次のサイドバンド光を用いて計測したことにより、歪の大きさが明らかにできたものである。第2次変調サイドバンド方式では、さらにSNRを高めることができるだけでなく、印加マイクロ波周波数を低くできるので、経済性も高く、実用に優れている。

2 . 光位相同期多波長光源広帯域チェーンのための光 PLL 設計

光周波数基準コムを提供に基づくマルチ光周波数キャリアチェーンの新規構成法を提案し、特許出願した。チェーン広帯域化の基本技術である光 PLL 回路の設計・試作を行い、50dB の CNR となる位相引き込み動作を確認した。その後、提案構成法によるチェーン化の原理確認を行なった。

課題ウ：多元的光パスネットワークング技術

ウ - 1 複数階層のコア/エッジネットワークを含むスケーラブル多元粒度光パスネットワークアーキテクチャ並びに設計アルゴリズムの開発

(1) ネットワークトポロジー、ノード間トラフィック需要がネットワーク全体のコストに与える影響を詳細に評価した。ネットワーク規模が 3×3 以上であればノード間規格化平均光パス需要が 4 以上の領域で、 6×6 以上であれば、光パス需要が 1 以上の領域で多階層光パスネットワークが単一階層と比べてコスト的に有効となることを明らかにした。また、最適な波長群幅を、ノード間規格化平均光パス需要程度とすることが、最も効率が良いことを初めて明らかにした。

(2) 多階層光パスネットワークの各ノードにおいて、波長群から波長パスに落とせる割合並びに終端出来る波長パスの割合に関する制約がネットワークコストに与える影響を評価し、add/drop 率が 0.3-0.4 以上であれば、上記制約によるコスト増はほとんど無いことを実証した。(3) 19 年度に部分試作した新構成波長群選択スイッチ(連続配置型波長群構成)の機能検証を行ない設計通りの機能を確認した。また、新たに分散配置型波長群に対する新構成波長群選択スイッチを考案し、同様に所望の機能を確認した。試作スイッチの平均損失としては、各々 6 . 1 並びに 8 . 2 dB の良好な値が実現された。

尚、上記を含む成果について、平成 20 年電子情報通信学会通信ソサイエティ最優秀論文賞(tutorial paper)、平成 20 年第 2 回フォトニックネットワーク研究会学生ワークショップ優秀賞を受賞している。

ウ - 2 多元粒度光パスネットワーク制御技術の研究開発

(1) 限られたトラフィック情報からネットワーク全体のトラフィック変動を的確に推定する数理的手法を開発した。また、ネットワークコントロールシステムの開発においては、初期プロトタイプを完成させた。予測・制御については、試験的な簡易なプログラムにより基本的動作を実証し、上記システムの実現性を確認した。

(2) 波長群パスレイヤでのプロテクションアルゴリズムに関して、効率的な

ヒューリスティックな解法を初めて開発した。本アルゴリズムはウ・1の評価に適用している。

尚、高信頼化多階層光パスネットワーク設計法の開発に関しては昨年度の平成19年電気学会東海支部長賞に続き、平成20年度電子情報通信学会東海支部学生研究奨励賞を受賞している。また、同分野で最も権威の有る学会の一つ OFC/NFOEC2009 への投稿論文が、Corning Outstanding Student Paper Award、Semi-Finalist に選ばれるなど、国際的にも高い評価を得ている。

ウ・3 高機能フォトニックノード構成要素技術の連携

連携実験に向けて、D-Plane と C-Plane を接続し動作させるインタフェースの検討・試作・動作確認を終えた。また実機の波長 SW や波長群 SW と接続し、試作したインタフェースが動作することを確認した。

課題工：研究テーマ全体管理

課題間連携ならびに他プロジェクトとの連携実験を推進した。

(7) 研究開発イメージ図

「高機能フォトニックノード技術の研究開発」の開発成果について

1. 施策の目標

・2010年度までに光-電気技術により100テラビット級のコアノード実現のための要素技術を確認するとともに、2020年度以降に超大容量光ノードの実現する。

2. 研究開発の背景

・インターネットの急速な普及やコンテンツの大容量化、及び様々な新しい情報通信サービスの展開に伴い、アクセス網からのトラフィックが集中するバックボーンネットワークには、100テラビット級という高いスループットの転送能力と多面的な粒度で効率的なスイッチングが求められる。100テラビット級の転送能力を現在の技術実現するには40 Gbpsの光バス容量を想定する場合、2500ポート規模の光スイッチが必要となる。同時にネットワークで管理すべき光レイヤパスの本数も著しく増大しその管理負荷が重くなる。そこで、100テラビット級のノードスループットを有し、持続時間がマイクロ秒領域のバーストデータから数百Gbpsの容量の波長群バスまでの広い範囲の粒度でのスイッチングを可能とする高機能フォトニックノード基本技術の確立を早期に進める必要がある。

3. 研究開発の概要と期待される効果

・高機能フォトニックノード技術は①超高速スイッチング技術 ②波長群スイッチングノード技術 ③多面的光バスネットワーク技術に大別
①ではナノ秒オーダーの超高速スイッチング速度と、数十から256ポート規模の多ポートスイッチ特性の両立を可能とし、現在検討されている光バースト(分、秒オーダー)スイッチングから、より粒度の細かいマイクロ秒オーダーの光バーストスイッチが可能とする超高速スイッチング技術の開発を行う。②では同一対地間に複数の速度の異なる波長を一括してルーティングを行う波長群スイッチング機能により光バス数や光スイッチポート数を削減し、ノードの小型化、省電力化を可能とするとともに、超大容量の波長群を限られた帯域で提供可能なダイナミクス性に優れた多面的スイッチング粒度を有するフォトニックノード構成技術の開発を行う。③では多元粒度光バスを用いるスケラブルな光ネットワークの設計法並びにネットワークを構成する高機能フォトニックネットワークノードをはじめとする各種のフォトニックノードにおける多元粒度光バス処理機能の配備法を確立する。また、電気レイヤ、多元粒度光バスレイヤで構成されるマルチレイヤネットワークにおけるシームレスなトラフィックエンジニアリングを行うための制御アルゴリズムを開発する。



4. 研究開発の期間及び体制

平成17年度～平成21年度(5年間)

NTTコミュニケーションズ株式会社《幹事会社》、富士通株式会社、日本電信電話株式会社、
国立大学法人名古屋大学、国立大学法人大分大学

平成20年度の課題成果

課題ア 超高速スイッチング技術

ペタビット級の次世代
基幹ネットワーク
向け小型スイッチ開発
【日刊工業新聞
2008年2月26日】

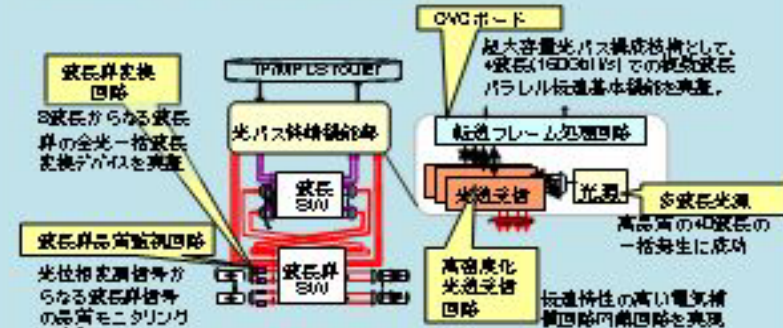
次世代ネットワークに
対応する超小型集積
光スイッチモジュール
【Laser Focus World
Japan 2008年5月号
12月号】

集積光スイッチ
消費電力半分に
【日刊工業新聞
2008年2月27日】



課題イ:波長群スイッチングノード技術

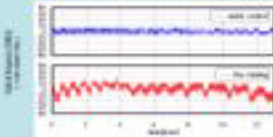
・波長群を光信号のまま伝送するための下記要素技術について、回路実装により 基本機能の実証に成功した。



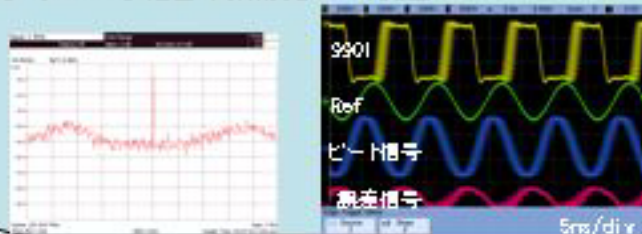
多波長光スイッチ 毎秒10テラビットで動作 NTTと富士通が成功
【日刊工業新聞 2009年3月30日】

イ-4 光位相同期多波長光源広帯域チェーン技術

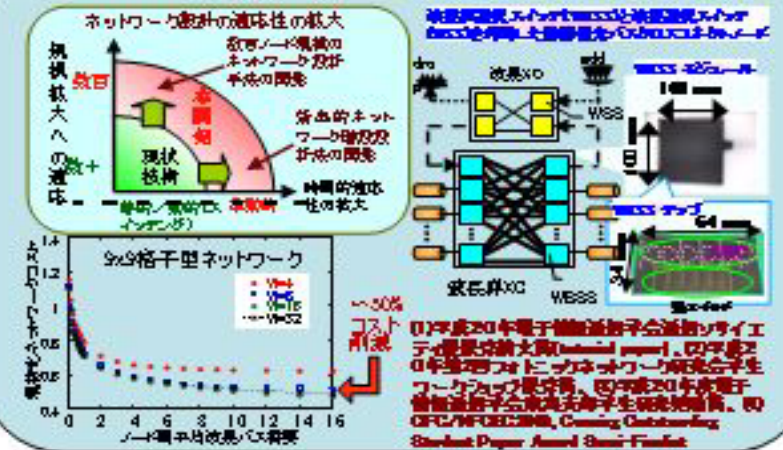
① 10⁻⁷以下の光周波数 確度で長期安定化



② チェーン化基本技術光PLLの実証



課題ウ 多元的光バスネットワーキング技術の研究開発



平成20年度の課題成果

課題ウ 多元的な光バスネットワーク技術の研究開発

波長SW/波長群SWと接続し、連携して動作することを確認した。



実験構成(上)とSW制御の結果(右)



1. これまで得られた成果(累計)

	特許出願	論文	研究発表	報道発表	標準化提案
高度なフォトニックデバイス技術の研究開発	76	79	106	5	0

2. これまで得られた成果(報道発表)

課題ア-1: 報道発表2008年2月26日、“ペタビット級の次世代基幹ネットワーク向け小型スイッチ開発”、日刊工業新聞

課題ア-2: 雑誌掲載2008年5月号 12月号、“次世代ネットワークに対応する超小型集積光スイッチモジュール”、Laser Focus World Japan

課題ア-3: 報道発表2008年2月27日、“集積光スイッチ消費電力半分に”、日経産業新聞

課題ア-3/課題イ: 報道発表2009年3月30日、“多階層光スイッチ毎秒10テラビットで動作NTTと富士通が成功”、日刊工業新聞